

О ВЛИЯНИИ СКОРОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА СЖИМАЕМОСТЬ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

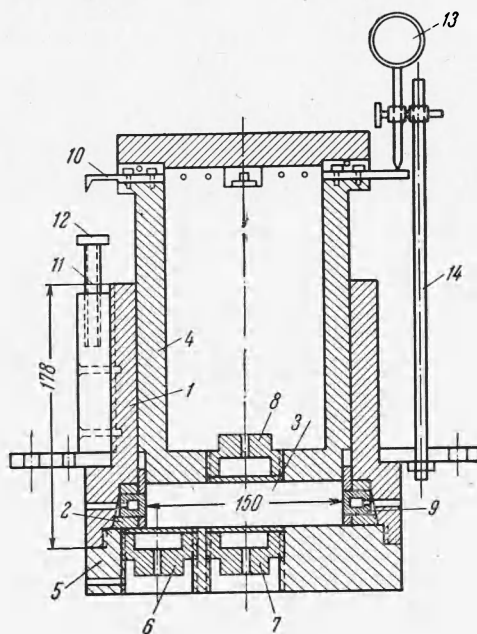
В. В. Мельников, Г. В. Рыков

(Москва)

В работах С. С. Григоряна [1, 2] предложены основные уравнения динамики мягкого грунта для случая, когда влияние скорости деформирования на его сжимаемость несущественно. Проведенные экспериментальные исследования [3-5] показали приемлемость этой модели для теоретического изучения динамических процессов в песчаных грунтах. Последующие исследования [6], а также приведенные ниже данные позволяют расширить область применения модели С. С. Григоряна в некоторых случаях

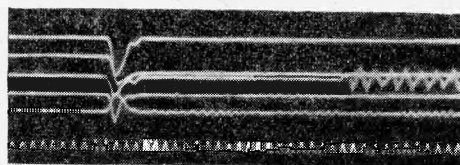
и на грунты, в которых влияние скорости деформирования на напряженно-деформированное состояние существенно.

В данной статье излагаются результаты экспериментальных исследований по влиянию скорости деформирования на сжимаемость лессового грунта и условие пластичности. Показано, что влияние скорости деформирования на сжимаемость лессового грунта в целом существенно, но при стремлении скорости деформирования к некоторой критической величине это влияние исчезает, так что существует предельная форма соотношений между напряжениями и характеристиками деформации, уже не содержащая скорости деформирования. Очевидно, существует также и другая предельная форма, соответствующая нулевой скорости деформирования, т. е. статистическая. Приводятся соответствующие количественные данные для лессовых грунтов. Показано, что условие пластичности типа Мизеса — Шлейхера [1, 2] от скорости деформирования не зависит.



Фиг. 1

$= 1.44 - 1.47 \text{ г/см}^3$ и весовой влажностью $w = 3 - 13\%$. Грунт в виде запарафинированных монолитов доставлялся из района проведения опытов, описанных в [6]. Испытания образцов грунта проводились в специально сконструированном приборе (фиг. 1), в условиях действия статических и динамических нагрузок. Прибор представлял собой цилиндр 1, в котором помещался образец грунта 3 в кольцо 2. Нагрузка передавалась на образец через поршень 4. В поддон цилиндра 5 и поршень 4 были вмонтированы тензометрические датчики 6, 7, 8, измерявшие вертикальные напряжения $\sigma_y(t)$. В кольцо были вмонтированы два тензометрических датчика 9, измерявших горизонтальное напряжение в образце $\sigma_x(t)$. Смещение поршня измерялось при помощи консольного прогибомера 10 в виде высокочастотной консольной балочки с наклеенными на нее тензодатчиками. Консольный прогибомер опирался на выдвижную стойку 11 с упором 12. Показания тензодатчиков регистрировались через усилитель 8АНЧ-7м на осциллографе Н-102. Динамические нагрузки создавались на копре при помощи падающего бойка, вес которого менялся от 50 до 200 кг. За счет изменения высоты сбрасывания и применения различного рода прокладок создавались разные режимы загрузки, при которых скорость деформирования менялась в пределах от 4 до 40 сек^{-1} . Для статических опытов использовался тот же прибор, при этом смещение поршня замерялось при помощи мессуры 13, закрепленной на стойке 14. Скорость деформирования в этих случаях составляла $1.45 \cdot 10^{-7} \text{ сек}^{-1}$.



Фиг. 2

Учитывая, что отношение высоты к диаметру кольца 2 равно 1 : 5, влиянием сил трения по стенкам кольца можно пренебречь.

На фиг. 2 представлена осциллограмма записей изменения во времени напряжений и смещений, полученных при испытаниях образца лессового грунта $\gamma = 1.44 \text{ г/см}^3$, $w = 12.4\%$ в приборе на копре. Первый луч (считая сверху вниз) относится к записи напряжения $\sigma_y(t)$ поршневым датчиком 8, второй — показывает перемещение поршня при ударе $u(t)$, третий и пятый соответствуют записям напряжений $\sigma_y(t)$ крайним 6 и центральным 7 тензодатчиками, установленными в поддоне прибора, а четвертый — записи $\sigma_x(t)$ боковым тензодатчиком 9.

Отметка времени дается через 0.002 сек.

Учитывая однородность деформации образца по диаметру кольца, можно определить ее по формуле

$$\epsilon(t) = u(t) / l_0 \quad (1.1)$$

Здесь ϵ — деформация образца, $u(t)$ — смещение поршня, l_0 — первоначальная высота образца.

Величина $\epsilon' = d\epsilon / dt$ может быть определена в этом случае по формуле

$$\epsilon' = \frac{1}{l_0} \frac{du(t)}{dt} \quad (1.2)$$

Таким образом, по осциллограммам в каждый момент времени можно получить данные о величинах напряжений $\sigma_y(t)$ и $\sigma_x(t)$, смещениях $u(t)$, деформациях $\epsilon(t)$ и скоростях деформирования $\epsilon'(t)$.

На фиг. 3 приведен график изменения во времени деформации $\epsilon(t)$, построенный по опытным данным. Из графика видно, что в данном опыте для нагружений при $0.0010 \leq \epsilon \leq 0.0025$ величина ϵ' меняется мало и равна $\epsilon' \approx 25.3 \text{ сек}^{-1}$; разгрузка также происходит практически в условиях постоянной скорости деформирования при $\epsilon' \approx 2 \text{ сек}^{-1}$. Это позволяет построить диаграммы сжатия образца $\sigma_y - \epsilon$ при нагружении при постоянной скорости деформирования $\epsilon' = \text{const}$, а также условие пластичности

$$T = F(p), \quad T = \sqrt{6J_2}, \quad p = -1/3(\sigma_y + 2\sigma_x),$$

где p — среднее гидростатическое давление, J_2 — второй инвариант девиатора тензора напряжений,

$$J_2 = 1/2 S_{ij} S_{ij}, \quad S_{ij} = \sigma_{ij} + \delta_{ij} p, \quad (i, j = 1, 2, 3)$$

σ_{ij} — компоненты тензора напряжений.

Для условий опытов

$$\sigma_{ij} = 0 \quad \text{при} \quad i \neq j,$$

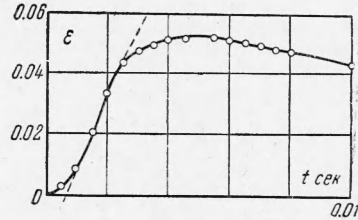
$$\sigma_{11} \equiv \sigma_y, \quad \sigma_{22} = \sigma_{33} \equiv \sigma_x, \quad J_2 = 1/3(\sigma_y - \sigma_x)^2.$$

2. Результаты опытов и их обсуждение. На фиг. 4, 5 представлены экспериментальные зависимости $\sigma_y(\epsilon)$, полученные при различных, но постоянных для данной кривой величинах $\epsilon' = \text{const}$. Кривые фиг. 4 соответствуют грунту с $\gamma = 1.44 - 1.47 \text{ г/см}^3$

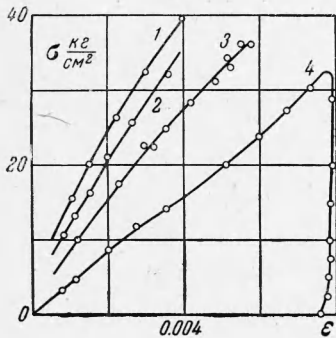
с влажностью $w = 3.4 - 3.6\%$, при этом кривая 1 соответствует $\epsilon_1' = 16.0 \text{ сек}^{-1}$, кривая 2 — $\epsilon_2' = 11.0 \text{ сек}^{-1}$, кривая 3 — $\epsilon_3' = 4.0 \text{ сек}^{-1}$, кривая 4 — $\epsilon_4' = 1.4 \cdot 10^{-7} \text{ сек}^{-1}$. Кривые фиг. 5 соответствуют грунту с влажностью $w = 12 - 13\%$, при этом $\epsilon_1' = 24.3 \text{ сек}^{-1}$, $\epsilon_2' = 13.3 \text{ сек}^{-1}$, $\epsilon_3' = 1.4 \cdot 10^{-7} \text{ сек}^{-1}$. На фиг. 5 незагущенными треугольниками показаны результаты исследований сжимаемости того же лессового грунта, полученные, исходя из соотношений на фронте ударных волн по опытам работы [6].

Совпадение этих данных с кривой 3 (фиг. 5) свидетельствует, что для данного грунта при увеличении ϵ' от критического значения $\epsilon_*' = 24.3 \text{ сек}^{-1}$ до $\epsilon' \rightarrow \infty$ (последнее имеет место на фронте ударной волны) не происходит дальнейшего уменьшения деформаций при $\sigma_y = \text{const}$.

Анализ приведенных данных свидетельствует о существенности влияния скорости деформирования на сжимаемость лессовых грунтов: при изменении в опытах величины ϵ' от 24.3 до $1.45 \cdot 10^{-7} \text{ сек}^{-1}$ деформации при постоянных напряжениях возрастали в 2—3 раза. Заметим, что в опытах наблюдалось два предельных положения диаграммы $\sigma_y(\epsilon)$ при $\epsilon' = \text{const}$ — нижнее, соответствующее статическому нагружению.



Фиг. 3



Фиг. 4

(кривая 4 на фиг. 4 и кривая 3 на фиг. 5), и верхнее, соответствующее $\dot{\epsilon} \geq 24.3 \text{ сек}^{-1}$ (кривая 1 на фиг. 5). Последняя может быть названа условно «предельной динамической» диаграммой сжатия.

Одновременное измерение всех компонент тензора напряжений позволило выяснить вопрос о влиянии скорости деформирования на условие пластичности, принятое ранее для мягких грунтов в виде условия Мизеса — Шлейхера [1, 2] и проверенное экспериментально при действии взрыва [3-6].

На фиг. 6 по оси ординат и абсцисс отложены соответственно величины

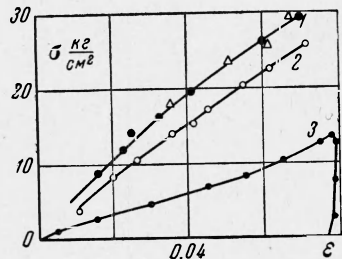
$$T = \sqrt{2}(\sigma_y - \sigma_x), \quad p = -1/3(\sigma_y + 2\sigma_x)$$

при различных $\dot{\epsilon}$. На фиг. 6 круглые точки соответствуют $\dot{\epsilon} = 4.0 \text{ сек}^{-1}$, треугольники — значением $\dot{\epsilon} = 16.0 \text{ сек}^{-1}$. Затусованные знаки относятся к нагружению, незатусованные — к разгрузке. Анализ приведенных данных показывает, что условие пластичности вида

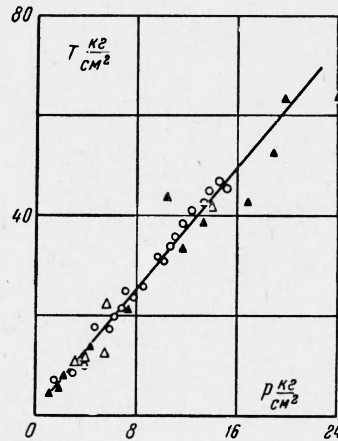
$$J_2 = 1/6 F^2(p)$$

$$F(p) = kp + b \quad (k, b = \text{const}) \quad (2.1)$$

в исследованном диапазоне $\dot{\epsilon}$ не зависит от $\dot{\epsilon}$ ни при нагружении, ни при разгрузке.]



Фиг. 5



Фиг. 6

Последнее позволяет по данным одноосного сжатия построить диаграммы объемного сжатия при $\theta' = \dot{\epsilon} = \text{const}$ по формуле

$$p = - \frac{\sigma_y(\epsilon) + 1/3 \sqrt{2} b}{1 + 1/3 \sqrt{2} k} \equiv f(\theta), \quad \theta' = \text{const} \quad (2.2)$$

Здесь θ — объемная деформация грунта.

Авторы признательны С. С. Григоряну за обсуждение настоящей работы и полезные советы.

Поступила 6 I 1965

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорян С. С. Об общих уравнениях динамики грунтов. Докл. АН СССР 1959, т. 124, № 2.
2. Григорян С. С. Об основных представлениях динамики и грунтов, ПММ, 1960, т. 24, вып. 6.
3. Алексеенко В. Д., Григорян С. С., Новгородов А. Ф., Рыков Г. В. Некоторые экспериментальные исследования по динамике мягких грунтов. Докл. АН СССР, 1960, т. 133, № 6.
4. Алексеенко В. Д., Григорян С. С., Кошелев Л. И., Новгородов А. Ф., Рыков Г. В. Измерение волн напряжений в мягких грунтах, ПМТФ, 1963, № 2.
5. Рыков Г. В. Экспериментальное исследование поля напряжений при взрыве в песчаном грунте. ПМТФ, 1964, № 1.
6. Григорян С. С., Ляхов Г. М., Мельников В. В., Рыков Г. В. Взрывные волны в лессовых грунтах, ПМТФ, 1963, № 4.